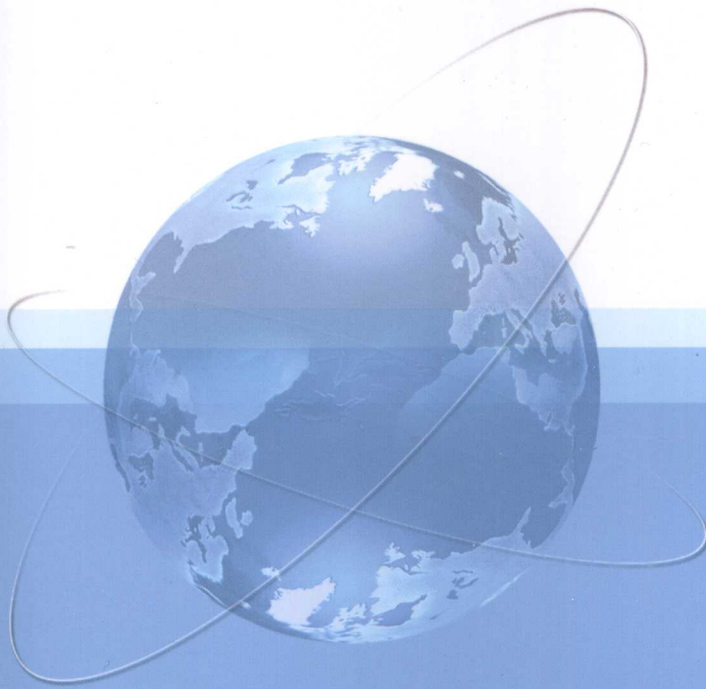




21世纪高职高专规划教材

(计算机类)

# 微机原理 与接口技术



孙立坤 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材  
(计算机类)

# 微机原理与接口技术

主 编 孙立坤  
副主编 米应恺  
参 编 张 晟 栗亚荣  
主 审 殷建国



机械工业出版社

本书以 Intel 80X86 微处理器为背景,从应用角度系统地介绍了 16/32 位微机的工作原理、存储器、控制器、I/O、D/A 和 A/D 转换、总线技术等以及一些通用/专用的可编程序接口技术的应用。

全书共分 9 章,分别为计算机基础知识、微处理器结构及典型微处理器、微型计算机存储系统、80X86/Pentium 的指令系统、总线、I/O 与中断技术、微机通信与接口技术、模拟接口与光隔离接口、人-机交互接口。本书每章后都附有小结和复习思考题。

本书可作为高职高专计算机类专业教材,也可作为从事微机系统设计和应用的技术人员自学用书和参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

微机原理与接口技术/孙立坤主编. —北京:机械工业出版社, 2007.9

21 世纪高职高专规划教材. 计算机类  
ISBN 978 - 7 - 111 - 22257 - 6

I. 微… II. 孙… III. ①微型计算机 - 理论 - 高等学校: 技术学校 - 教材②微型计算机 - 接口 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 135513 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 余茂祚 责任编辑: 余茂祚

版式设计: 冉晓华 责任校对: 吴美英

封面设计: 饶 薇 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张 · 393 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 22257 - 6

定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

# 21 世纪高职高专规划教材 编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘 义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	<b>田建敏</b>	成运花	曲昭仲	朱 强
刘 莹	刘学应	许 展	严安云	李连邨
李学锋	李选芒	<b>李超群</b>	杨 颀	杨群祥
杨翠明	吴 锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张 波	<b>张 锋</b>	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	<b>俞庆生</b>	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	<b>徐铮颖</b>	韩学军	崔 平
崔景茂	<b>焦 斌</b>			

总 策 划 余茂祚

# 前 言

本书是根据教育部有关文件精神,针对高职高专培养技能型、应用型人才的特点,由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国 80 多所院校编写的 21 世纪高职高专规划教材之一。

30 年来微型计算机技术的发展日新月异,继 4 位、8 位微处理器后,又相继出现了 16 位、32 位,乃至 64 位微处理器。以 Intel 80X86 为 CPU 的微型计算机系统,无论是在国际还是在国内都是最具代表性的主流机型。本书以 Intel 80X86 微处理器为蓝本,系统介绍 16/32 位微型计算机原理与接口技术。

自 1946 年第一台电子计算机问世以来,计算机的发展经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路几个发展阶段。20 世纪 70 年代初诞生的以微处理器为核心的微型计算机,也从 4 位、8 位、16 位发展到 32 位、64 位字长的功能强大的高档微型计算机。以当今在计算机世界占有绝对优势的 80X86/Pentium 系列微型计算机为例,其 CPU 芯片经历了 8088、8086、80286、80386、80486 到 Pentium 系列(Pentium、Pentium Pro、Pentium MMX、Pentium II、Pentium III 及 Pentium IV)的更新换代,计算机的应用范围也从最初的科学计算拓展到社会工作的各个领域。

随着 CPU 芯片性能的提高,微型计算机硬件与软件产品正以几年一代的速度不断翻新。但是,计算机的基本工作原理并没有改变。对于使用者,特别是应用程序的开发人员来说,所有这些 CPU 或微型计算机是一个系列,它们在升级换代过程中充分考虑了兼容性,因而在应用方面是完全兼容的。从 8088、8086 到 80386 以上直至 Pentium IV,寄存器结构仅仅是 16 位与 32 位的区分,没有本质的区别。芯片的指令系统中 80% 以上(基本指令集)是完全相同的,只是在 80286 以上的芯片增加了一些新指令(包括保护方式下的指令)以提高 CPU 的性能和功能。8086/8088 的工作方式与 80286 以上芯片的实方式完全相同。所以说,8086/8088 CPU 是 Intel 80X86/Pentium 系列芯片的基础,是全面学习与掌握 80X86/Pentium 系列微机硬件技术与应用基础的很好的切入点。

本书从计算机硬件应用的需要出发,从 8086/8088 CPU 着手,并结合 80286、80386、80486 及 Pentium 系列 CPU 的特点,系统讲述微型计算机的组成与工作原理、CPU 功能结构及特点、存储器、寻址方式、指令系统和汇编语言程序设计、微机总线、I/O 接口与中断的工作原理及处理方法、微机系统典型接口芯片及 PC 与外设的接口方法,并介绍 80X86/Pentium 系列微型计算机的系统结构、总线标准及基于总线的系统硬件扩展等一系列技术,以求达到从理论和实践上对微型机的主要技术深入理解、牢固掌握、灵活应用。

“微机原理与接口技术”课程是高职高专计算机专业学生必修的一门专业基础课程,也是当今其他电气电子类和工程类专业学生在计算机应用方面的一门重要选修课程。本教材以高职高专学生为主要对象,在选材上注重基础、实用、先进和系统性,以反映计算机及其应用技术的最新发展;在内容组织上遵循循序渐进、由易及难、宽编窄用的原则,以适应不同专业、不同层次教学的需要;在叙述上力求做到由浅入深、通俗易懂,并配有适当的复习思

考题，以利于教学和自学。全书编写力求做到原理、技术与应用并重，理论与实践结合，符合教学规律。

本书由大连职业技术学院孙立坤主编，西安理工大学高等技术学院米应恺任副主编，参加编写的有安徽国防科技职业学院张晟和太原理工大学轻纺工程与美术学院栗亚荣。其中，第1、2、6章由孙立坤编写，第3、7章由张晟编写，第4、8章由米应恺编写，第5、9章由栗亚荣编写。

本书由大连职业技术学院殷建国主审，他认真审阅了全部书稿。本书在编写过程中得到了编者所在单位领导、老师的大力支持，提出了许多宝贵意见，在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

## 21 世纪高职高专规划教材书目 (机、电、建筑类)

高等数学(理工科用) (第2版)	机电一体化系统设计	制冷原理与设备	动画设计与制作
高等数学学习指导书(理工科用)(第2版)	控制工程基础	制冷与空调装置自动控制技术	管理信息系统
计算机应用基础(第2版)	机械设备控制技术	电视机原理与维修	物流技术基础
应用文写作	金属切削机床	自动控制原理与系统	物流仓储与配送
经济法概论	机械制造工艺与夹具	电路与模拟电子技术	物流管理
法律基础	冷冲模设计及制造	低频电子线路	物流运输管理与实务
法律基础概论	塑料模设计及制造	电路分析基础	
C 语言程序设计	模具 CAD/CAM	常用电子元器件	建筑制图
工程制图(机械类用) (第2版)	汽车构造	电工与电子实验	建筑制图习题集
工程制图习题集(机械类用)(第2版)	汽车电器与电子设备	电工与电子实验实训教程	建筑力学(第2版)
计算机辅助绘图——AutoCAD2005 中文版	公路运输与安全	专业英语(电类用)	建筑材料
公差配合与测量技术	汽车检测与维修	单片机原理及接口技术案例教程	建筑工程测量
工程力学	汽车营销学	<b>微机原理与接口技术</b>	钢筋混凝土结构及砌体结构
金属工艺学	工程制图(非机械类用)	多媒体技术及其应用	房屋建筑学
机械设计基础	工程制图习题集(非机械类用)	操作系统	土力学及地基基础
工业产品造型设计	离散数学	数据结构	建筑设备
液压与气压传动	电路基础	软件工程	建筑给排水
电工与电子基础	单片机原理与应用	微型计算机维护技术	建筑电气
电工电子技术(非电类专业用)	电机与电器控制	汇编语言程序设计	建筑施工
机械制造技术	电力拖动与控制	VB6.0 程序设计	建筑工程概预算
机械制造基础	可编程序控制器及其应用(三菱机型)	VB6.0 程序设计实训教程	房屋维修与预算
数控技术	可编程序控制器及其应用(欧姆龙机型)	Java 程序设计	建筑装修装饰材料
专业英语(机械类用)	工厂供电	C++ 程序设计	建筑装修装饰构造
金工实习	微机原理与应用	Delphi 程序设计	建筑装修装饰设计
数控机床及其使用维修	模拟电子技术	计算机网络技术	楼宇智能化技术
数控加工工艺及编程	数字电子技术	网络应用技术	钢结构
机电控制技术	数字逻辑电路	网络数据库技术	多层框架结构
计算机辅助设计与制造	办公自动化技术	网络操作系统	建筑施工组织
	现代检测技术与仪器仪表	网络安全技术	房地产开发与经营
	传感器与检测技术	网络营销	工程造价案例分析
		网络综合布线	土木工程实训指导
		网络工程实训教程	土木工程基础实验教程
		计算机图形学实用教程	

# 目 录

## 前言

## 第1章 计算机基础知识..... 1

1.1 计算机系统概述 ..... 1

1.2 计算机的运算基础 ..... 4

1.3 微型计算机系统概述 ..... 9

小结 ..... 15

复习思考题 ..... 15

## 第2章 微处理器结构及典型微

处理器 ..... 17

2.1 微处理器的基本结构 ..... 17

2.2 8086/8088 微处理器 ..... 19

2.3 80386 微处理器 ..... 27

2.4 Pentium 系列微处理器 ..... 38

小结 ..... 51

复习思考题 ..... 51

## 第3章 微型计算机存储系统 ..... 53

3.1 存储器与存储体系概述 ..... 53

3.2 半导体存储器 ..... 56

3.3 半导体存储器接口的  
基本技术 ..... 65

3.4 高速缓冲存储器 ..... 70

小结 ..... 72

复习思考题 ..... 72

## 第4章 80X86/Pentium 的

指令系统 ..... 73

4.1 80X86 指令基本格式 ..... 73

4.2 80X86 的寻址方式 ..... 75

4.3 8086/8088 指令系统 ..... 78

4.4 汇编语言程序设计基础 ..... 97

4.5 DOS 系统功能调用和

ROM BIOS 中断调用 ..... 108

小结 ..... 111

复习思考题 ..... 112

## 第5章 总线 ..... 114

5.1 概述 ..... 114

5.2 微型计算机的总线标准 ..... 117

小结 ..... 127

复习思考题 ..... 127

## 第6章 I/O 与中断技术 ..... 128

6.1 I/O 及其接口 ..... 128

6.2 简单的 I/O 接口芯片 ..... 130

6.3 数据传送的控制方式 ..... 135

6.4 中断技术 ..... 150

6.5 8086/8088 的中断系统 ..... 157

6.6 可编程序中断  
控制器 8259A ..... 161

小结 ..... 170

复习思考题 ..... 171

## 第7章 微机通信与接口技术 ..... 172

7.1 微机通信与可编程序  
接口芯片 ..... 172

7.2 可编程序并行接口  
8255A 及应用 ..... 174

7.3 可编程序串行接口  
8251A 及应用 ..... 183

7.4 定时/计数器 8253 ..... 190

小结 ..... 197

复习思考题 ..... 198

## 第8章 模拟接口与光隔离接口 ..... 199

8.1 D/A 转换 ..... 199



8.2 A/D 转换 .....	204	复习思考题 .....	230
8.3 光隔离接口 .....	211		
小结 .....	212	<b>附录</b> .....	231
复习思考题 .....	212	附录 A 中断向量地址一览表 .....	231
<b>第 9 章 人-机交互接口</b> .....	213	附录 B DOS 功能调用 .....	232
9.1 输入设备接口 .....	213	附录 C BIOS 中断 .....	237
9.2 输出设备接口 .....	217	附录 D DEBUG 主要命令 .....	241
9.3 磁盘存储器接口 .....	226	<b>参考文献</b> .....	246
小结 .....	230		

# 第 1 章 计算机基础知识

## 1.1 计算机系统概述

### 1.1.1 计算机的发展史

计算机最早应用于数学计算，并因此而得名。但目前，电子计算机并不仅仅用于数学计算，而是更广泛地应用于信息处理、自动控制、辅助设计、辅助制造、辅助教学、人工智能和现代通信等领域。

计算机是一种能按照人们事先编写的程序连续、自动地工作，能对输入的数据信息进行加工、存储、传送，由电子和机械部件组成的电子设备。计算机的发展经历了以下 3 个阶段：

1. 近代计算机发展阶段 这个阶段的计算机也被称为机械计算机（1642 ~ 1945 年）。发明出第一台能工作的计算机的是法国人，这台计算机只能进行加法和减法运算。从此以后的 180 年间，计算机没有大的发展，直到出现了微分机。这台机械设备是为海军导航计算数据表而设计的，只能运行一种算法。它的输出是用钢模子刻在铜面上的，这是后来一次性书写的存储介质。之后出现的第一台成型的计算机是 1944 年，在哈佛完成。它有 72 个字，每个字有 23 个十进制数，指令周期为 6s，用穿孔纸带进行 I/O。在这以后，电子计算机时代开始了。

2. 现代计算机发展阶段 这个阶段将计算机分成了四代。

(1) 第一代——电子管计算机（1945 ~ 1955 年）。电子管计算机的主要特点是采用电子管作为逻辑元件，主存储器采用汞延迟线、磁鼓、磁心，外存储器采用磁带，软件主要采用机器语言、汇编语言，以科学计算为主。其缺点是体积大、耗电大、可靠性差、价格昂贵、维修复杂。这一代电子计算机奠定了以后电子计算机技术的基础。

(2) 第二代——晶体管计算机（1955 ~ 1965 年）。到了 20 世纪 50 年代，电子管计算机就已经过时了。这时期的计算机的逻辑元件逐步由电子管改为晶体管，因而缩小了体积、降低了功耗、提高了速度和可靠性。主存储器采用磁心器，外存储器已采用先进的磁盘，并出现了各种各样的高级语言及编译程序，还出现了以批处理为主的操作系统。计算机开始应用于工业控制，以科学计算和各种事务处理为主。

(3) 第三代——集成电路计算机（1965 ~ 1970 年）。20 世纪 60 年代，计算机的逻辑元件采用小、中规模集成电路（SSI、MSI），这种硅集成电路使得在单个芯片上可集成几十只晶体管。对晶体管的这种封装，使研制比晶体管计算机更小、更快、更便宜的计算机成为可能，小型机也因而蓬勃发展起来，主存仍采用磁心，出现了分时操作系统及会话式语言等多种高级语言，而且实现了多道程序（内存中同时可以有多个程序），当其中一个等待 I/O 时，另一个可以进行计算。

(4) 第四代——大规模/超大规模集成电路计算机（1970 ~ 1980 年）。20 世纪 80 年代，计算机的逻辑元件和主存储器都采用了大规模集成电路（LSI）。大规模集成电路的出现，

使得在一个芯片上集成几十万甚至几百万只晶体管成为可能，其集成度比中、小规模集成电路提高了1~2个以上数量级，这时计算机发展到了微型化、耗电少、可靠性很高的阶段。大规模集成电路使军事工业、空间技术、原子能技术得到发展，同时这些领域的蓬勃发展又对计算机提出了更高的要求，有力地促进了计算机工业的空前大发展。随着大规模集成电路的迅速发展，计算机除了向巨型机方向发展外，还朝着超小型机和微型机方向飞跃前进。1971年末，世界上第一台微处理器和微型计算机在美国旧金山南部的硅谷应运而生，它开创了微型计算机的新时代。到1980年，计算机的价格降低到个人能承受的地步，个人计算机(PC)时代开始了。

3. 微型计算机及网络新时代(1980年至今) 微型计算机(Microcomputer)简称微机或PC机，是对大型主机进行的第二次“缩小化”，它的一个突出特点是将运算器和控制器制作在一块集成电路芯片上，一般称为微处理器(CPU)。微型计算机具有体积小、重量轻、功耗小、可靠性高、对使用环境要求不严格、价格低廉和易于成批生产等特点，当前流行的Pentium III和Pentium IV等都属于微型计算机。

随着微型计算机的发展，20世纪70年代出现了在局部范围内把计算机连在一起的趋势，这样连起来的网络称为局域网。

自1969年美国国防部的ARPAnet运行以来，计算机广域网开始逐步发展。1983年，TCP/IP传输控制与网际互联协议正式成为ARPAnet的协议标准，这使国际互联网有了突飞猛进的发展。以ARPAnet为主干发展起来的Internet到1990年已经连接了3000多个网络和20万台计算机。20世纪90年代后，Internet继续迅猛扩展。时至今日，Internet已成为人们生活的重要组成部分。

### 1.1.2 计算机的基本结构

1946年美籍匈牙利数学家冯·诺依曼提出计算机的基本结构是由运算器、控制器、存储器、输出设备和输入设备五大部分构成(称之为冯·诺依曼结构)，如图1-1所示，同时提出了计算机应具有两个基本能力的冯·诺依曼原理：一是能够存储程序；二是能够自动地执行程序。

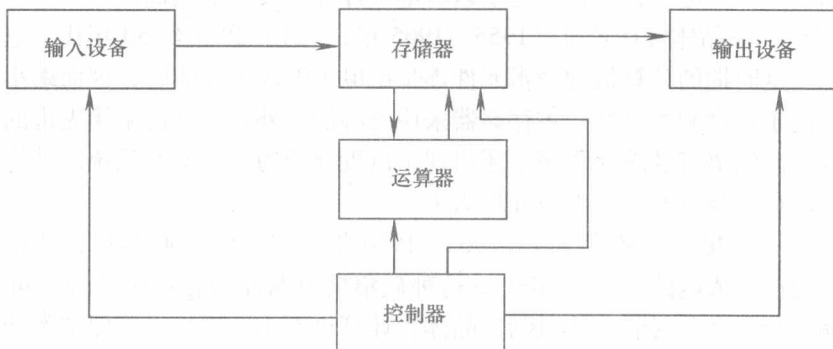


图1-1 计算机基本结构(冯·诺依曼结构)

在基本结构中，运算器是对信息或数据进行处理和运算的部件；控制器主要实现计算机本身运行过程的自动化；存储器用来存放程序和数据，是计算机各种信息的存储和交流中

心；输入设备是用来输入原始数据和处理这些数据的设备，输入的信息有数字、符号、字母、图像、声音和控制符；输出设备用来输出计算机的处理结果，输出的可以是字母、数字、表格和图形。

### 1.1.3 计算机系统的组成

计算机系统是由硬件系统和软件系统构成（见图 1-2）。

所谓硬件系统，是指构成计算机的物理设备，即由机械、光、电、磁器件构成的具有计算、控制、存储、I/O 功能的实体部件，如 CPU、存储器、软盘驱动器、硬盘驱动器、光盘驱动器、主机板、各种卡及整机中输入设备和输出设备。



图 1-2 计算机系统的组成

所谓软件系统，则是指管理计算机系统资源，控制计算机系统运行的程序、命令、指令和数据等。软件系统是计算机系统的重要组成部分。相对于计算机硬件而言，软件是计算机的无形部分，但它的作用是很大的。如果只有好的硬件，而没有好的软件，计算机是不可能显示出其优越性的。

### 1.1.4 计算机的分类及其特点

1. 计算机的分类 随着大规模集成电路的迅速发展，计算机进入大发展时期。根据人类对计算机功能需求的不断细化，将计算机分为巨型机、小巨型机、大型机、小型机、微型机以及工作站。

(1) 巨型机。巨型机运算速度超过 1 亿次/s，存储容量大，主存容量甚至超过几千兆字节。其结构复杂、价格昂贵，研制这类巨型机是现代科学技术，尤其是国防尖端技术发展的需要。核武器、反导弹武器、空间技术、大范围天气预报和石油勘探等都要求计算机具有很高的速度、很大的容量，一般的计算机远远不能满足要求。

(2) 小巨型机。小巨型机是 20 世纪 80 年代出现的新机种，因巨型机价格十分昂贵，所以在力求保持或略微降低巨型机性能的条件下开发出小巨型机，使其价格大幅降低（约为巨型机价格的 1/10）。为此，在技术上采用高性能的微处理器组成并行多处理器系统，使

巨型机小型化。

(3) 大型机。大型机的运算速度一般在 100 万次/s 至几千万次/s, 字长为 32 ~ 64 位, 主存容量在几百兆字节以上。大型机具有比较完善的指令系统、丰富的外部设备和功能齐全的软件系统, 其特点是通用性强, 有极强的综合处理能力, 主要应用于银行、政府部门和大型制造厂家等。

(4) 小型机。小型机规模小、结构简单, 所以设计试制周期短, 便于及时采用先进工艺、大量生产、降低硬件成本。同时, 由于应用于小型机的软件比大型机简单, 所以小型机软件成本也低。小型机打开了在控制领域应用计算机的局面, 主要应用于数据的采集、整理、分析和计算等方面。

(5) 微型机。微型机采用微处理器、半导体存储器和 I/O 接口等芯片组装, 使得微型机具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格便宜、可靠性高和使用方便等特点。微型计算机已经极大地普及到家庭, 促进着人们的学习、交流和社会的发展。

(6) 工作站。工程工作站是 20 世纪 80 年代兴起的面向工程技术人员的计算机系统, 其性能介于小型计算机和微型计算机之间, 一般具有高分辨率显示器、交互式的用户界面和功能齐全的图形软件。

## 2. 计算机的特点

(1) 运算速度快。目前, 高性能计算机每秒能进行超过 10 亿次的加减运算。例如, 气象、水情预报要分析大量资料, 如用手工计算则需 10 多天才能完成, 这样就失去了预报的意义。

(2) 计算精度高。在计算机内部采用二进制数字进行运算, 表示二进制数值的位数越多, 则精度就越高。因此, 可以用增加表示数字的设备和运用计算技巧的方法, 使数值计算的精度越来越高。电子计算机的计算精度在理论上不受限制, 一般的计算机均能达到 15 位有效数字, 通过技术处理可以达到任何精度要求。

(3) 记忆能力强。计算机可以存储大量的数据、资料, 这是人脑所无法比拟的。在计算机中有一个承担记忆职能的部件——存储器, 其容量可以做得非常大, 能记忆大量信息, 既能记忆各类数据信息, 又能记忆处理加工这些数据信息的程序。

(4) 具有复杂的逻辑判断能力。计算机具有逻辑判断能力, 可以根据判断结果自动决定以后执行的命令。

(5) 具有执行程序的能力。计算机是一个自动化程度极高的电子装置, 在工作过程中不需人工干预, 能自动执行存放在存储器中的程序。设计好的机器语言程序被输入计算机后, 计算机就会不知疲倦地执行下去。计算机适合去完成那些枯燥、乏味、令人厌烦的重复性劳动, 也适合控制以及深入到人类难以胜任的、有毒的、有害的作业场所。

## 1.2 计算机的运算基础

计算机是采用二进制来实现数据的存储和运算的, 因此了解和掌握数制和码制的有关内容对于进一步学习和掌握微机原理与接口技术是十分必要的。本节介绍一些基础的数制与码制知识。

### 1.2.1 数制及数制转换

数制是人们利用符号来计数的科学方法。数制分为非进位计数制和进位计数制。在进位

计数制中，逢十进一的是十进制 nD，逢八进一的是八进制 nQ，逢二进一的是二进制 nB，逢十六进一的是十六进制 nH。

1. 不同进位制数的特点 十进制数的特点是用 10 个数码 (0~9) 表示所有的数，基数是 10，采用逢十进一的计数方法；二进制数的特点是用 2 个数码 (0 和 1) 表示所有的数，基数是 2，采用逢二进一的计数方法，如二进制的 10 表示十进制的 2；八进制数的特点是用 8 个数码 (0~7) 表示所有的数，基数是 8，采用逢八进一的计数方法，如八进制的 11 表示十进制的 9；十六进制数的特点是用 16 个数码 (0~F) 表示所有的数，基数是 16，采用逢十六进一的计数方法，如十六进制的 1A 表示十进制的 26。

任何一种数制表示的数都可以写成按位权展开的多项式之和，用以下表达式表示一个任意进制的数 X：

$$X = a^{n-1}N^{n-1} + \cdots + a_0N^0 + a_{-1}N^{-1} + \cdots + a_{-m}N^{-m}$$

其中，n 为整数位数，m 为小数位数。

2. 在计算机中采用二进制数的优点 二进制数在计算机中具有易于用器件实现、运算简单、节省存储设备、可以方便地利用逻辑代数来综合与分析逻辑电路等优点，因此被广泛采用。

在计算机中除采用二进制数外，还常使用八进制数与十六进制数，几种数制进制对照见表 1-1。

### 3. 不同数制之间的转换

表 1-1 几种数制进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	9	1001	11	9
1	0001	1	1	10	1010	12	A
2	0010	2	2	11	1011	13	B
3	0011	3	3	12	1100	14	C
4	0100	4	4	13	1101	15	D
5	0101	5	5	14	1110	16	E
6	0110	6	6	15	1111	17	F
7	0111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

(1) 二进制数、八进制数、十六进制数转换为十进制数的转换方法。按权展开求和。

**例 1-1** 将二进制数 11001.101 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } 11001.101\text{B} &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 25.625 \end{aligned}$$

(2) 十进制数转换为二进制数的转换方法。整数部分除 2 取余，由下向上排写；小数部分乘 2 取整，由上向下排写。

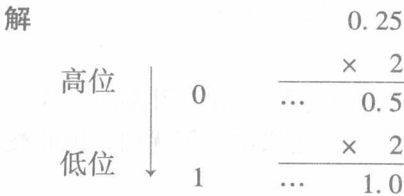
**例 1-2** 将十进制数 25D 转换为二进制数。

解



所以  $25D = 11001B$

例 1-3 将 0.25D 转换为二进制数。



所以  $0.25D = 0.01B$

(3) 二进制数转换为八进制数、十六进制数的方法

1) 二进制数转换为八进制数。整数部分由右向左每 3 位分组，每组求和，不足位补 0；小数部分由左向右每 3 位分组，每组求和，不足位补 0。

2) 二进制数转换为十六进制数。整数部分由右向左每 4 位分组，每组求和，不足位补 0；小数部分由左向右每 4 位分组，每组求和，不足位补 0。

例 1-4 将二进制数 1110101.1101B、11110101.11011B 转换为八进制和十六进制数。



(4) 八进制数、十六进制数转换为二进制数的方法

1) 八进制数转换为二进制数。整数部分每位分解为 3 位二进制数，左 0 不计；小数部分每位分解为 3 位二进制数，右 0 不计。

2) 十六进制数转换为二进制数。整数部分每位分解为 4 位二进制数，左 0 不计；小数部分每位分解为 4 位二进制数，右 0 不计。

例 1-5 八进制数 745.67Q、十六进制数 7BC.E8H 转换为二进制数



### 1.2.2 计算机中数值数据的表示

数值型数据的特点是可以有正负，还可以是整数或小数，如 0、10、-125、3.1415。在计算机内，所有这些数都必须用二进制表示。

1. 计算机中带有正负号的数字的表示 计算机内部带有正负号的数字的表示形式是用机器数，也就是带符号的二进制数。而机器数真正表示的数值称为该机器数的真值。在计算机中，正负号也是要用二进制数来表示的，机器数采用设置固定符号位（一般是二进制数的最高位）的方法来表示其正负，“0”表示为正数，“1”表示为负数。

在计算机中，机器数的真值和符号全部是数字化的，为了解决由此带来的不统一问题和减法运算中的符号问题，对有符号的机器数常采用原码、反码和补码3种方式来表示。

(1) 原码。用原码表示机器数时，将符号位数值放在最高位（“0”表示正数，“1”表示负数）。采用该方法表示时会出现两种情况，即正的0（000…00）和负的0（100…00）。

原码记作  $[X]_{\text{原}}$ 。例如， $X1 = +1001101$ ，则  $[X1]_{\text{原}} = 01001101$ ； $X2 = -1000111$ ，则  $[X2]_{\text{原}} = 11000111$ 。

原码表示法是机器数的一种简单的表示法，用它来表示数简单、直观，与真值间的转换也方便，但如果用它直接进行两个同号数相减或两个异号数相加的运算将产生错误结果。为了方便运算，在计算机中通常将减法运算转化成加法运算（两个异号数相加等同于两个同号数相减），由此引入了反码和补码的概念。

(2) 反码。机器数的反码表示为原码除符号位之外的其余各位数值取反，结果若为正数，则反码与原码一致。

反码记作  $[X]_{\text{反}}$ 。例如， $X1 = +1001101$ ，则  $[X1]_{\text{原}} = 01001101$ 、 $[X1]_{\text{反}} = [X1]_{\text{原}} = 01001101$ ； $X2 = -1000111$ ，则  $[X2]_{\text{原}} = 11000111$ 、 $[X2]_{\text{反}} = 10111000$ 。

反码通常作为求补码过程的中间形式。

(3) 补码。机器数的补码表示为一个负数的反码末位加1。任意一个数的补码的补码即为其原码本身。

补码记作  $[X]_{\text{补}}$ 。例如， $X1 = +1001101$ ，则  $[X1]_{\text{原}} = 01001101$ 、 $[X1]_{\text{补}} = [X1]_{\text{原}} = 01001101$ ； $X2 = -1000111$ ，则  $[X2]_{\text{原}} = 11000111$ 、 $[X2]_{\text{补}} = 10111000 + 1 = 10111001$ 。

引入补码后，计算机中的加减法运算都可以统一为补码中的加法运算，并使其符号位同时参与运算，其运算规则为

$$[X + Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}}$$

$$[X - Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [-Y]_{\text{补}}$$

引入补码后，也同时解决了在补码系统中零的惟一性问题，即

$$[+0]_{\text{补}} = [+0]_{\text{原}} = 00 \cdots 00$$

$$[-0]_{\text{原}} = 10 \cdots 00$$

$$[-0]_{\text{反}} = 11 \cdots 11$$

$$[-0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{反}} + 1 = 11 \cdots 11 + 1 = 00 \cdots 00$$

2. 计算机中小数的表示 在实际生活中，需要计算机处理的数据除了有正负数之外，还包括带有小数的数值，如何正确表示小数点的位置是计算机要解决的一个重要问题。在计算机中，小数点的表示方法不同于正负号的表示法，而是采用约定的方式来表示。

约定的方式有两种：一种是规定小数点在二进制数中的某一位上不变，称为定点数；另一种则是允许小数点在二进制数中的位置可以任意改变，称为浮点数。

(1) 定点数。定点数是指以固定小数点位置的简单方式来表示的机器数，是微型计算机中常用的方式。在计算机中，如果小数点是被固定在整个二进制数的最右边，则该二进制数表示的就是一个纯整数，称为定点整数；而如果小数点是被固定在符号位之后的，则该二进制数表示的就是一个纯小数，称为定点小数。

无论是定点整数还是定点小数，在计算机中的表示形式都是一样的。小数点的位置是事



先约定好的，而且小数点的位置是隐含的，在二进制数中并不真实地表示出来。定点数的格式如图 1-3 所示。

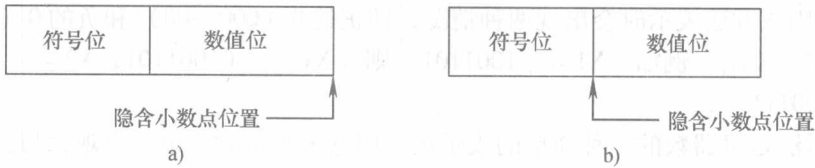


图 1-3 定点数的格式  
a) 定点整数的格式 b) 定点小数的格式

(2) 浮点数。在以数值计算为主要任务的计算机中，由于定点数所能表示的数的范围太窄，不能满足计算的需要，因此就要采用浮点数表示法。浮点数是指小数点在数中的位置是不固定的，它既有整数部分又有小数部分。采用浮点数的最大特点是比定点数表示的数值范围大。

在计算机中，通常用阶码（也称指数，记作 E）和尾数（表示有效数字，记作 M）相结合的方式来表示浮点数，如浮点数 N 可以表示为  $N = 2^E M$ 。一个浮点数由阶码符号 ES、阶码 E、尾数符号 S、尾数 M 四部分组成。

例如： $+1101101$  的数值等于  $2^7 \times 0.1101101$ ，阶码为 7，即为二进制定点整数 +111，尾数为 +0.1101101。若计算机中用 4 个字节来表示浮点数，即  $4 \times 8 = 32$  位，其中阶码占 8 位，尾数占 24 位，则该浮点数表示形式如图 1-4 所示。

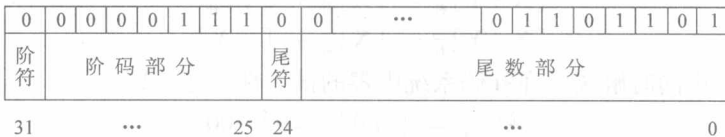


图 1-4 浮点数的表示方式

在浮点数中，阶码为可变的整数，其长度决定数的范围，阶符的正负决定小数点移动的方向，若为正，则向右移动，若为负，则向左移动。尾数是总小于 1 的数字，它给出该浮点数的有效数字，即决定数的精度，有正负数之分（尾符）。

为了提高所表示数的精度，充分利用尾数的有效位数，浮点数采用了规格化表示的方法，即当尾数不为 0 时，应修改阶码，以保证尾数数值部分的最高位必定为有效数字 1，这样的浮点数称为规格化数。

当浮点数的尾数为零或者阶码为最小值时，机器通常规定，将该数看作零，称为“机器零”。在浮点数表示和运算中，当一个数的阶码大于机器所能表示的最大阶码时，产生“上溢”。上溢时机器一般不再继续运算而转入“溢出”处理；反之，若一个数的阶码小于机器所能表示的最小阶码，则产生“下溢”，下溢时一般作为机器零来处理。